

# **ANÁLISIS MULTITEMPORAL SOBRE LA PÉRDIDA DEL ESPEJO DE AGUA SOBRE EL HUMEDAL LAGUNA LA HERRERA POR EFECTOS ANTRÓPICOS ASOCIADOS A LA MINERÍA.**



**MIGUEL ÁNGEL SALAMANCA GÓMEZ**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
**ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS  
RECURSOS NATURALES**

Director:  
**Edna Liney Montañez Hurtado**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS  
RECURSOS NATURALES  
BOGOTÁ, 12 de julio de 2018**

# **ANÁLISIS MULTITEMPORAL SOBRE LA PÉRDIDA DEL ESPEJO DE AGUA SOBRE EL HUMEDAL LAGUNA LA HERRERA POR EFECTOS ANTRÓPICOS ASOCIADOS A LA MINERÍA.**

MULTI-TIMER ANALYSIS ON THE LOSS OF THE WATER MIRROR ON LAGUNA LA HERRERA WETLAND FOR ANTHROPIC EFFECTS ASSOCIATED WITH MINING

Miguel Ángel Salamanca Gómez

Ingeniero Catastral y Geodesta

Especialización en planeación Ambiental y Manejo integral de los recursos naturales

Universidad Militar Nueva Granada

Bogotá, D.C., Colombia

[u2700834@unimilitar.edu.co](mailto:u2700834@unimilitar.edu.co)

## **RESUMEN:**

Debido a las diferentes actividades antrópicas realizadas en la laguna la herrera, como la extracción de material de construcción que se realiza en las canteras, se refleja el deterioro y reducción del área del espejo de agua de la laguna, generando además la desaparición de las formaciones rocosas y de la cobertura vegetal natural que funcionaba como un ciclo hídrico manteniendo las características físicas adecuadas del humedal.

Mediante la interpretación y procesamiento digital de imágenes, se pretende hacer un análisis sobre los cambios por los que ha atravesado el cuerpo de agua de la laguna y verificar si esta metodología puede usarse como control sobre el manejo adecuado de los cuerpos de agua como los humedales

## **ABSTRACT:**

Due to the different anthropic activities carried out in the La Herrera lagoon, such as the extraction of construction material carried out in the quarries, the deterioration and reduction of the water mirror area of the lagoon is reflected, also generating the disappearance of the formations rocky and natural vegetation cover that worked as a water cycle while maintaining the appropriate physical characteristics of the wetland.

## **PALABRAS CLAVES**

Antrópico

Cantera

Espejo de agua

Cobertura vegetal

Ciclo hídrico

Imágenes digitales

Cuerpo de agua

Ecosistemas

Servicios ambientales

Acuíferos  
Multiespectral  
Geomántica  
Fotointerpretación

## INTRODUCCIÓN:

La sabana de Bogotá, ubicada sobre la cordillera oriental, fue una vasta extensión de cuerpos de agua entre los cuales sobresalían los humedales, restos de lo que hace mucho tiempo fue el gran lago Humboldt, este sistema de cuerpo de agua acumulaba una gran cantidad de especies endémicas de las regiones altas, por ubicar a la altura de los páramos, ecosistemas únicos y vulnerables por la susceptibilidad a cambios radicales en sus características físicas.

Un humedal se considera como “ecosistema intermedio entre el medio acuático y el terrestre, con porciones húmedas, semi húmedas y secas, caracterizado, por la presencia de flora y fauna muy singular” (Historia de los Humedales de Bogotá, DAMA. 2000). El cuerpo de agua presta varios servicios ambientales y por sus características es un sistema que no es posible recrear artificialmente, entre los servicios prestados se encuentran, recarga y descarga de acuíferos, control de flujo, retención de sedimentos y tóxicos, retención de nutrientes, hábitat para vida silvestre, recreación pasiva entre otros. Este ecosistema por sus beneficios y sus endemismos son parte de las áreas de importancia para la conservación de las aves de Colombia y el mundo (AICAS) lo cual *“Es un estándar internacional que hace referencia a un ‘Área Importante para la Conservación de las Aves’*. *En Colombia y el mundo las AICA se identifican atendiendo criterios técnicos que consideran la presencia de especies de aves que son prioritarias para la conservación”*<sup>1</sup>, para el año 2003 el humedal Laguna La Herrera fue declarada como área de conservación (AICA).

El humedal Laguna la Herrera ubicada en el municipio de Mosquera a 2550 msnm, con una extensión superficial de 280 Ha y una profundidad máxima de 2m, hace parte de la cuenca del río Bojacá al costado sur occidental de la Sabana de Bogotá, conformada por paisajes de pantano y zonas secas, como son las lomas de Mondoñedo y Vista Hermosa, se ve afectada por la cercanía de la actividad humana, problemas que presenta son los vertimientos que recibe por el río Bojacá, en el cual se depositan las aguas negras de los municipios de Bojacá y Facatativá, por el costado sur-occidental las aguas del canal San José proveniente del distrito de riego Chicú, proveniente a su vez del río Bogotá<sup>2</sup>.

En los predios aledaños en el costado sur separados solamente por una carretera del cuerpo de agua se encuentran las canteras para la extracción de materiales de

---

<sup>1</sup> <http://www.humboldt.org.co/es/test/item/525-areas-importantes-para-la-conservacion-de-las-aves-aicas>

<sup>2</sup> <http://mosquera-cundinamarca.gov.co/index.shtml?apc=bjxx2-&x=2089180>

construcción, que han estado en funcionamiento desde la década de los 80, época en la cual los controles del manejo de la explotación minera no eran estrictos.

## **METODOLOGÍA:**

El análisis multiespectral combina dos grandes actividades de la geomática, la fotointerpretación y el procesamiento digital de imágenes satelitales. La foto interpretación se asocia más con el análisis óptico de imágenes aéreas, las cuales se capturan con una cámara montada sobre un avión ya que la cercanía de las mismas permite una interpretación a simple vista, mientras que el procesamiento digital se realiza sobre imágenes satelitales, tal como su nombre lo indica son sensores ubicados en satélites que en su mayoría son pasivos, lo que significa que necesitan de una fuente de energía para poder realizar la toma de las imágenes, en el caso específico del presente trabajo se utilizaran imágenes provenientes de los sensores landsat, a diferencia de las imágenes aéreas, las imágenes satelitales cuenta con una gama de imágenes capturadas en diferentes longitudes de onda, a lo cual se conoce como resolución espectral, dependiendo de cada satélite, podemos encontrar geoestacionarios; la mayor características de estos es que siempre permanecen en el cenit un punto ubicado en la superficie terrestre, moviendo a una velocidad similar a la de la rotación terrestre. otros satélites sobrevuelan la superficie, realizando giros alrededor del planeta cruzando cada cierta cantidad de tiempo sobre el cenit de un punto ubicado sobre la superficie terrestre, a estos se les denomina satélites de órbita baja con alturas que oscilan entre 700 a 1400 km y con tiempos aproximados de traslación de 90 a 140 min, o de órbita media con alturas que oscilan entre 9000 a 20000 km, con tiempos de traslación de 10 a 16 horas, a esto se le conoce como resolución temporal. El tamaño del píxel y la mínima unidad en que se pueden identificar objetos en la imagen, es conocida como resolución espacial, para los sensores landsat esta depende de las bandas a trabajar, en el multi espectral en bandas 1, 2, 3, 4, 5, y 7, esta resolución es de 30 m, para la pancromática (imagen real en blanco y negro) la resolución espacial es de 15 m y por último tenemos la resolución radiométrica, la cual hace referencia a la cantidad de grises que puede generar una imagen para discriminar mejor la información. Ya con las resoluciones con las que cuenta una imagen satelital claras, vemos la necesidad antes de entrar en el desarrollo de la interpretación y el procesamiento digital de las imágenes en el áreas de estudio, por la extensión que la componen, se hace difícil poder llegar a discriminar mejor la información y teniendo en cuenta que los insumos a usar son imágenes de los sensores landsat, con el fin de mejorar la resolución espacial sin afectar las resoluciones restantes, se procede con una fusión de imágenes, de diferentes bandas con las pancromática, usando filtros que ayuden con la meta propuesta.

Fusión de imágenes: *“La fusión de imágenes es una técnica digital que pretende mejorar una imagen multi espectral y así potenciar su uso en diversas aplicaciones. Para ello se combinan los datos de una imagen pancromática (o una imagen de radar o de otro sensor no óptico) de alta resolución espacial con los de una imagen multi espectral de alta resolución espectral. El resultado final es una nueva imagen en la cual se ha conservado una buena parte de la riqueza espectral original y se ha ganado resolución espacial.”*<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> <http://cidc.udistrital.edu.co/investigaciones/documentos/revistacientifica/rev5/vol1/1Fusion.pdf>

Otra definición que se puede asumir es: “*el procedimiento de aplicación de algoritmos apropiados que asocian, relacionan y combinan datos procedentes de diversos sistemas de satélites para producir imágenes de teledetección con características deseables, es decir, imágenes que acumulan las características espectrales de las bandas MS originales y la geometría de la banda pancromática de alta resolución*”<sup>4</sup>



*Imagen 1: Zona de estudio RGB color natural*



*Imagen 2: Zona de estudio banda pancromática sensor landsat 7 (2)*

Al realizar la comparación ~~simple vista~~ es posible observar la diferencia, en la imagen 1 en una combinación color natural, la zona de estudio tiende a verse algo borrosa y pixelada, con posibles dificultades en la interpretación y clasificación de coberturas, en la imagen 2, se aprecia la banda pancromática del sensor con una resolución espacial de mejor calidad, con posibilidades de realizar una mejor interpretación de la zona de estudio y mejora al momento de la clasificación de coberturas.

---

<sup>4</sup> <http://www.bdigital.unal.edu.co/8839/1/diegorenzatorres.2010.pdf>

Para la realización de la fusión de imágenes, se utilizó el software PCI geomatics 15, mediante la herramienta PANSHARP 2, “algoritmo que toma los detalles geométricos de la imagen pancromática junto con la información espectral de la imagen multi espectral. El algoritmo se basa en el número menor de cuadrados para aproximar la relación de valor-pixel, entre las imágenes pancromática y multi espectral, mediante mínimos cuadrados esta herramienta puede encontrar el mejor ajuste de los valores de las bandas multi espectrales que han sido fusionadas y ajustar la contribución de las bandas individuales para la reducción de la distorsión del color”<sup>5</sup>.

**CUADRO 1: COMPARACION DE IMÁGENES SIN FUSIONAR Y CON MEJARMIENTO ESPACIAL MEDIANTE FUSION**





**Fuente:** Elaboración propia

Como se muestra en el cuadro 1, el mejorar la resolución espacial de las imágenes multi espectrales mediante la fusión con la imagen pancromática, a simple vista se puede percibir el cambio, la discriminación de la información se facilita y el procesamiento digital de las imágenes igual, el área de estudio se puede diferencia con mayor facilidad y la interpretación se vuelve confiable.

Este proceso se realiza con todas las imágenes adquiridas para poder identificar los cambios que ha tenido el cuerpo de agua a lo largo del tiempo, junto con la alteración de las zonas circundantes, con el fin de determinar si estos también han tenido que ver con las modificaciones que se han podido presentar en la superficie del cuerpo de agua.

Con el fin de facilitar la discriminación de la información este proceso nos lleva a realizar una clasificación no supervisada y supervisada, que al igual que el proceso anterior, se realiza mediante el software pci gematics la clasificación no supervisada se puede definir como: *“son aquellos procesos en los que el algoritmo clasificador no necesita de más información que la escena a clasificar y algunos parámetros que limiten el número de clases. Estos mecanismos de clasificación basan su efecto en la búsqueda de clases con suficiente separabilidad espectral como para conseguir diferenciar unos elementos de otros.”*<sup>6</sup>, esta clasificación se realiza mediante el algoritmo de las k-medias que se basa en clasificar los valores de los píxeles en los números de clases que se insertaron, busca píxeles cercanos y mediante una desviación agrupa píxeles con valores similares o cercanos y similares, como resultado tenemos una gama de imágenes en cada una de las escenas de diferentes años en que se consiguieron las imágenes:

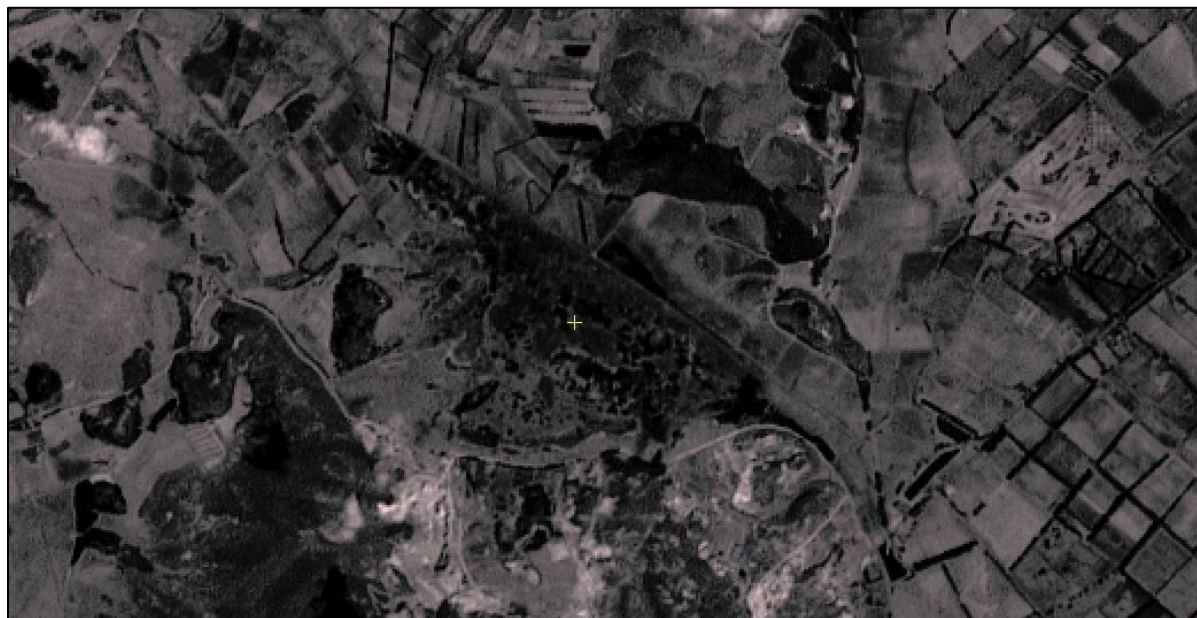
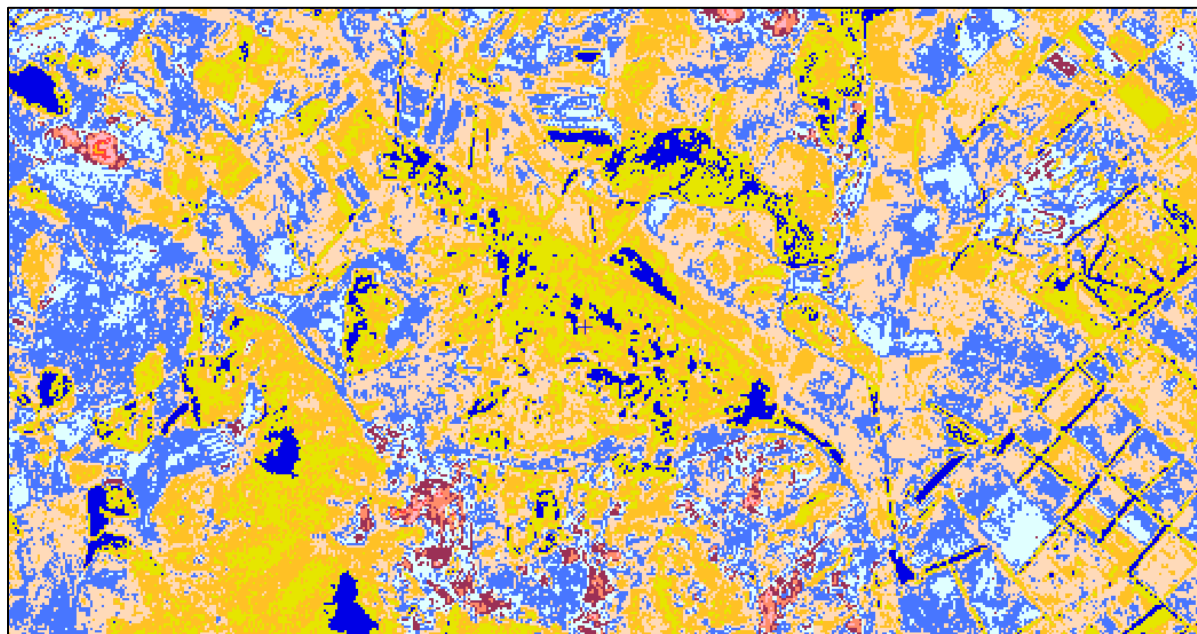
---

<sup>6</sup> [http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/tel/archivos/Prac\\_Tel\\_2006\\_7.pdf](http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/tel/archivos/Prac_Tel_2006_7.pdf)



## COMPARACION DE LAS IMÁGENES CLASIFICACION NO SUPERVISADA E IMAGEN SATELITAL FUSIONADA

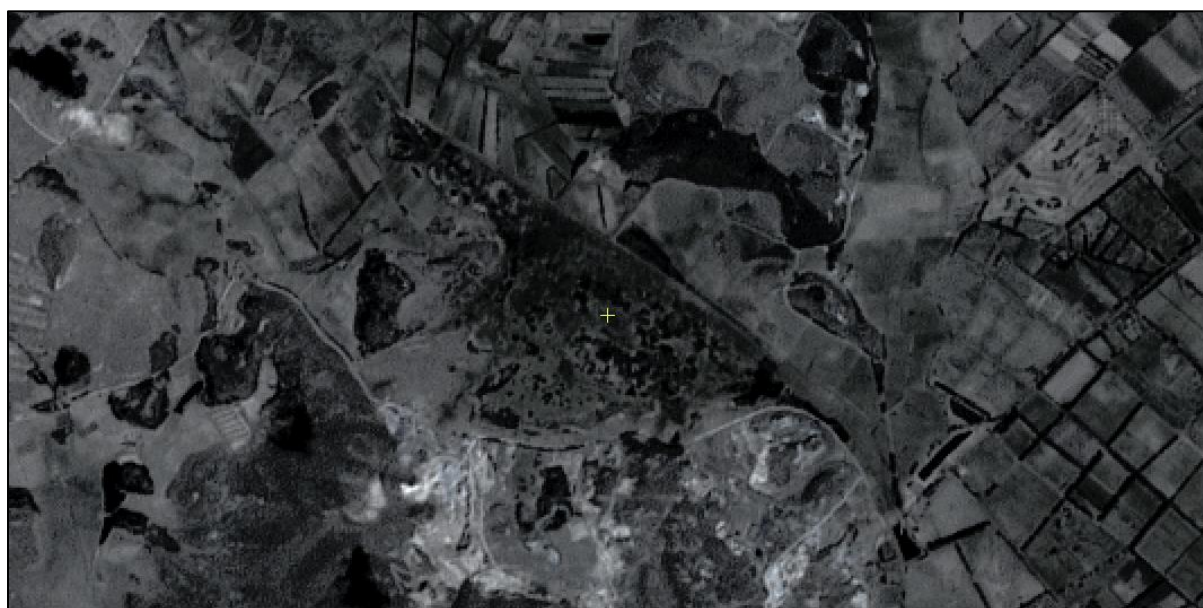
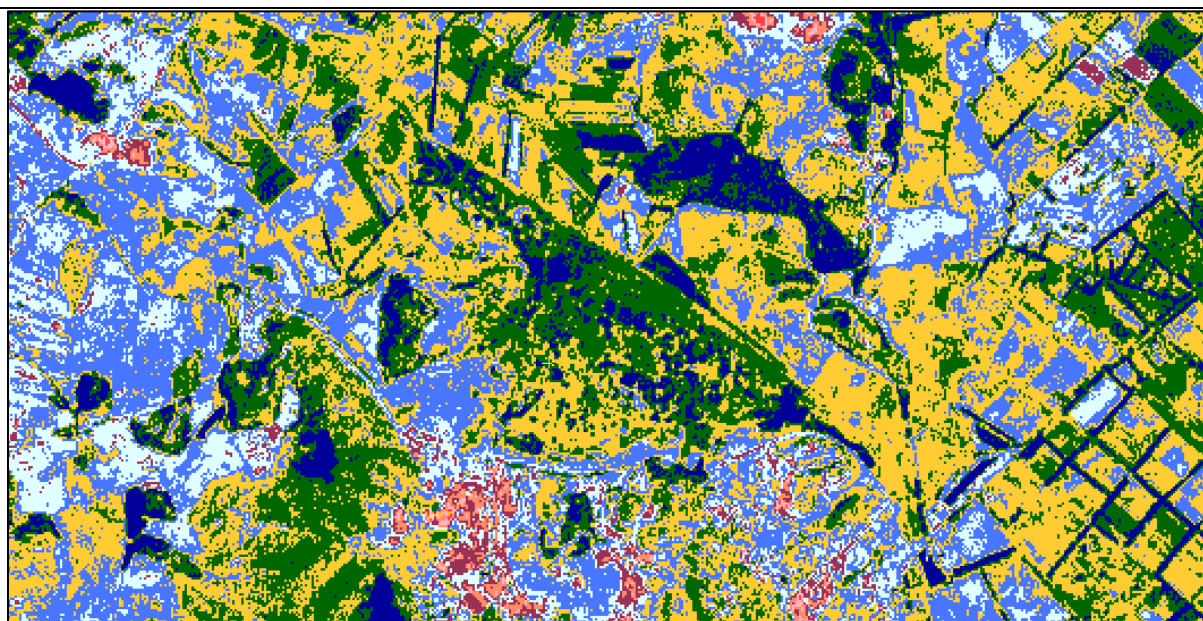
Imagen del año 1985



Fuente: Elaboración propia

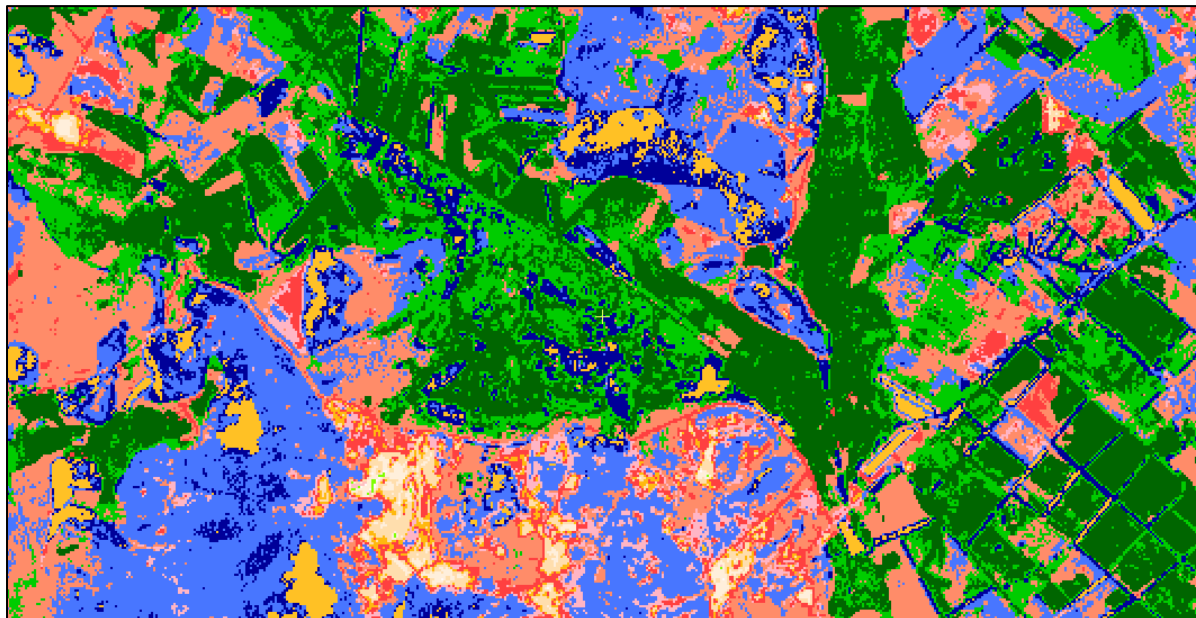
Imagen del año 1988





**Fuente:** Elaboración propia

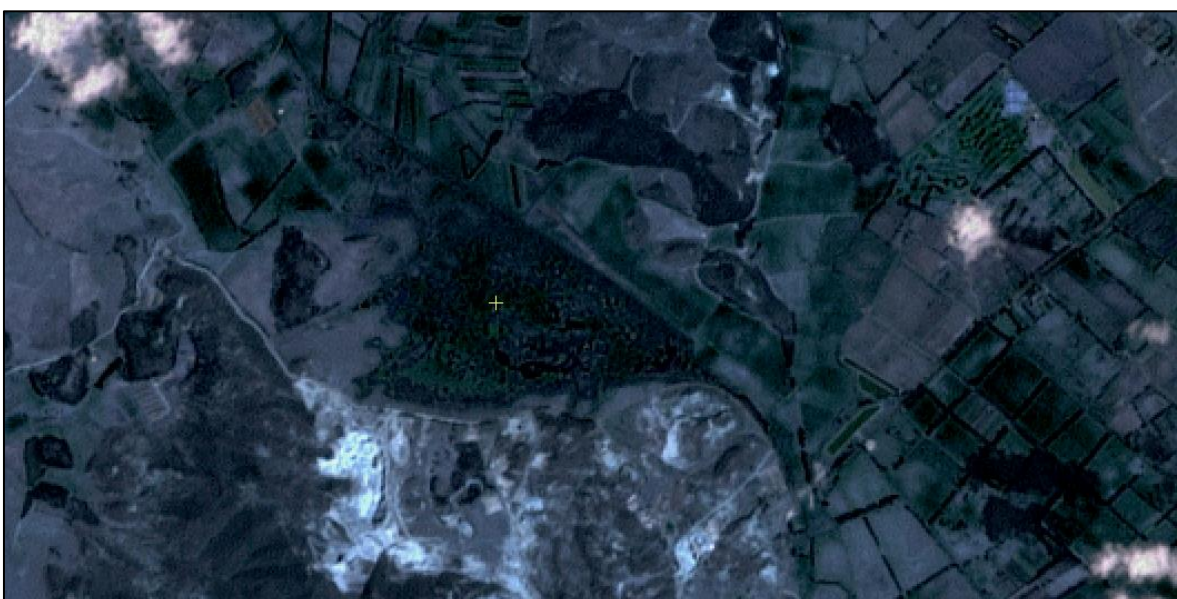
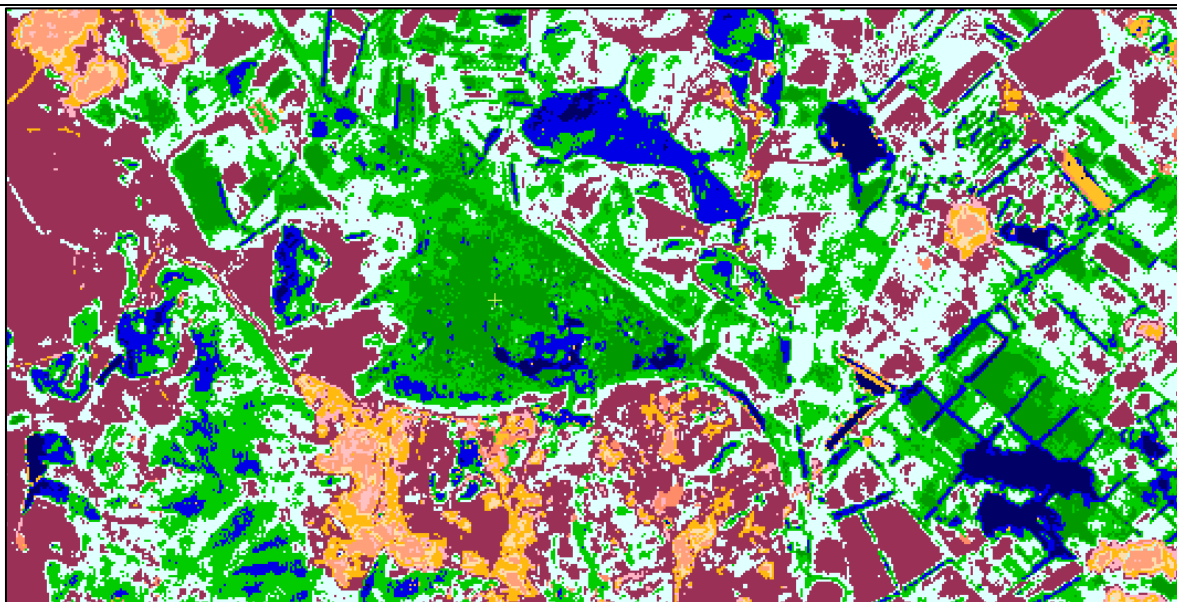
**Imagen del año 1999**



**Fuente:** Elaboración propia

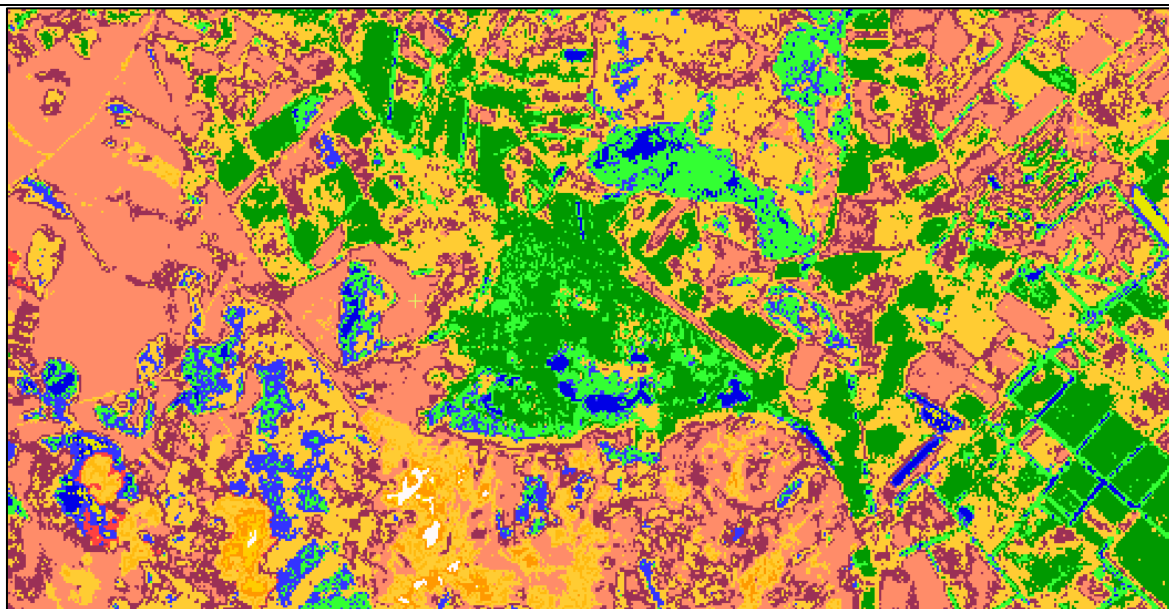
**Imagen del año 2001**





Fuente: Elaboración propia

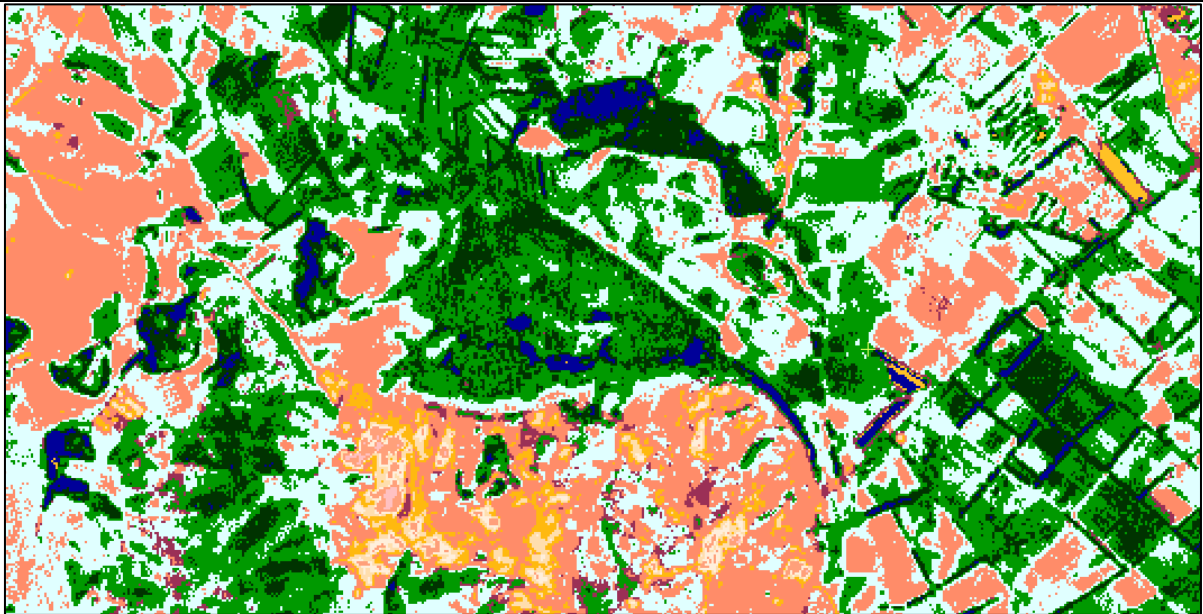
Imagen del año 2002



**Fuente:** Elaboración propia

**Imagen del año 2003**

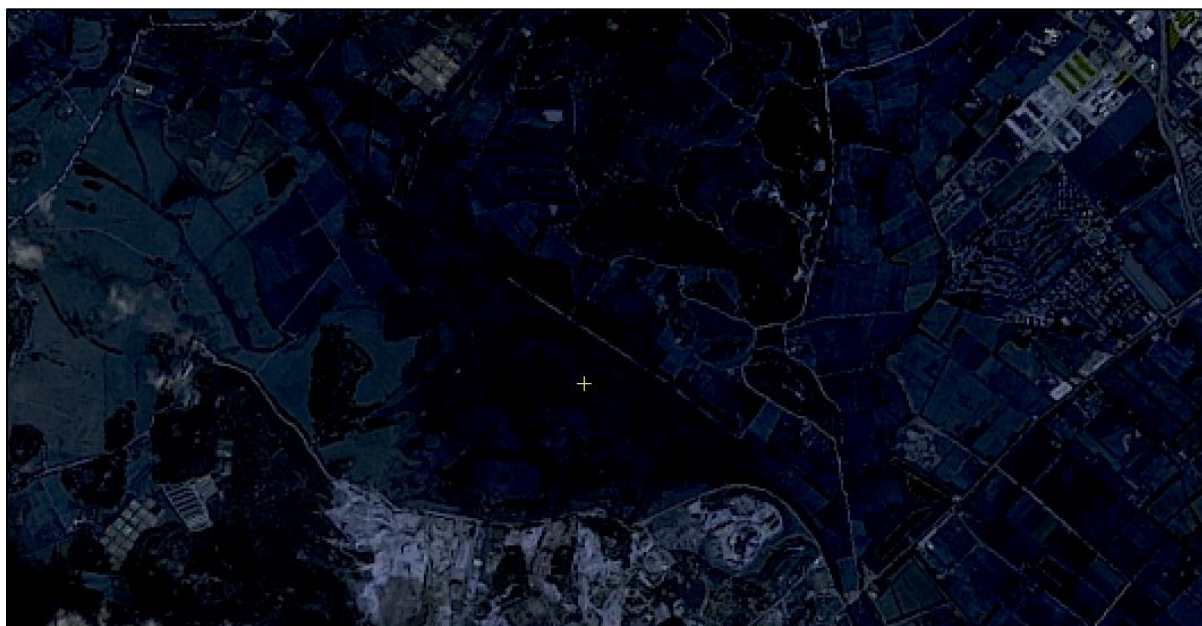
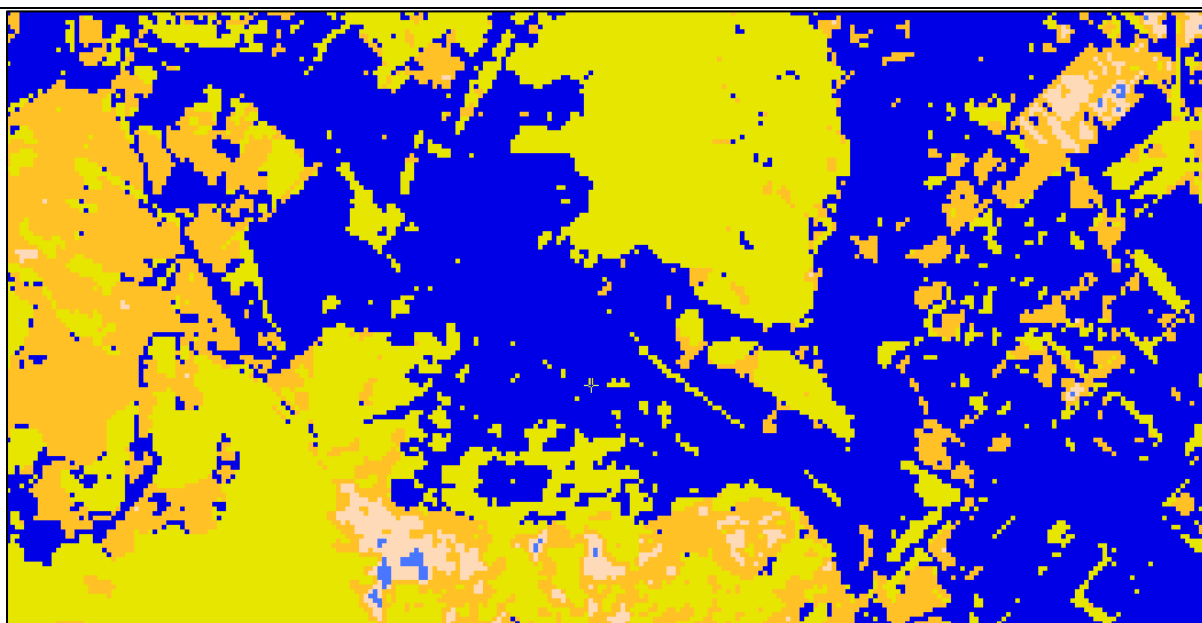




Fuente: Elaboración propia

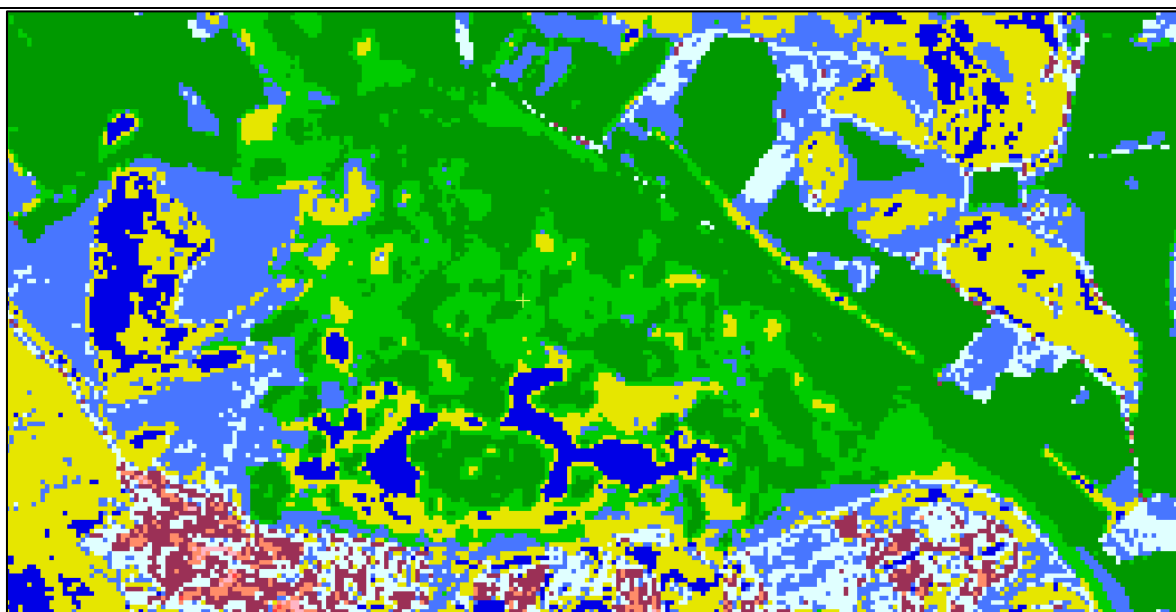
Imagen del año 2014





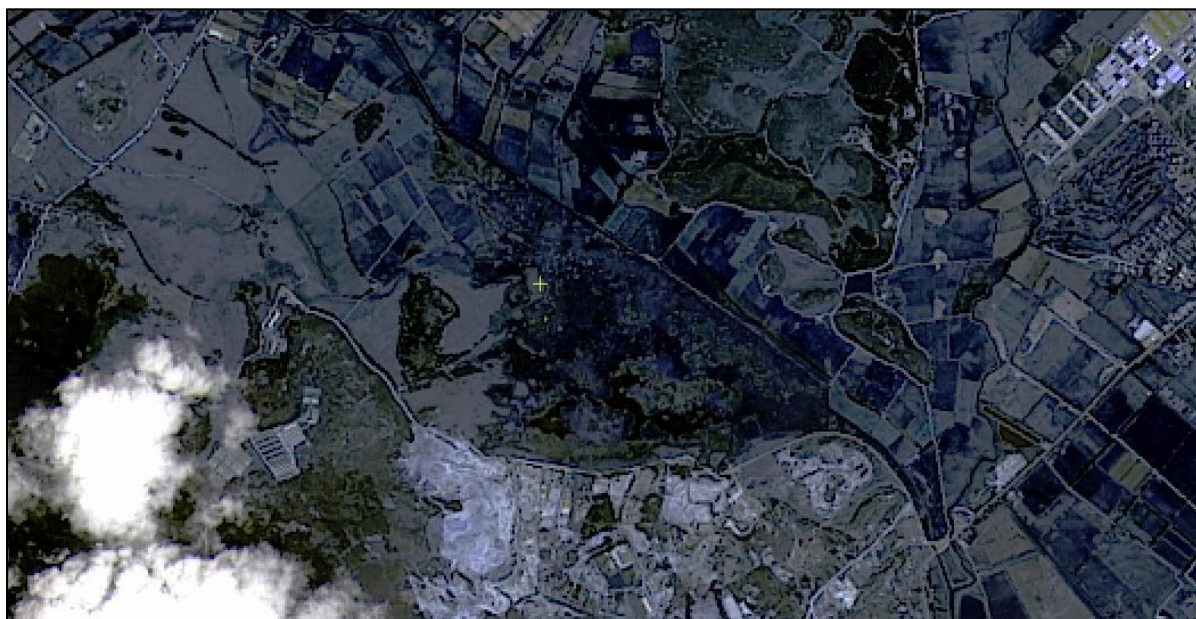
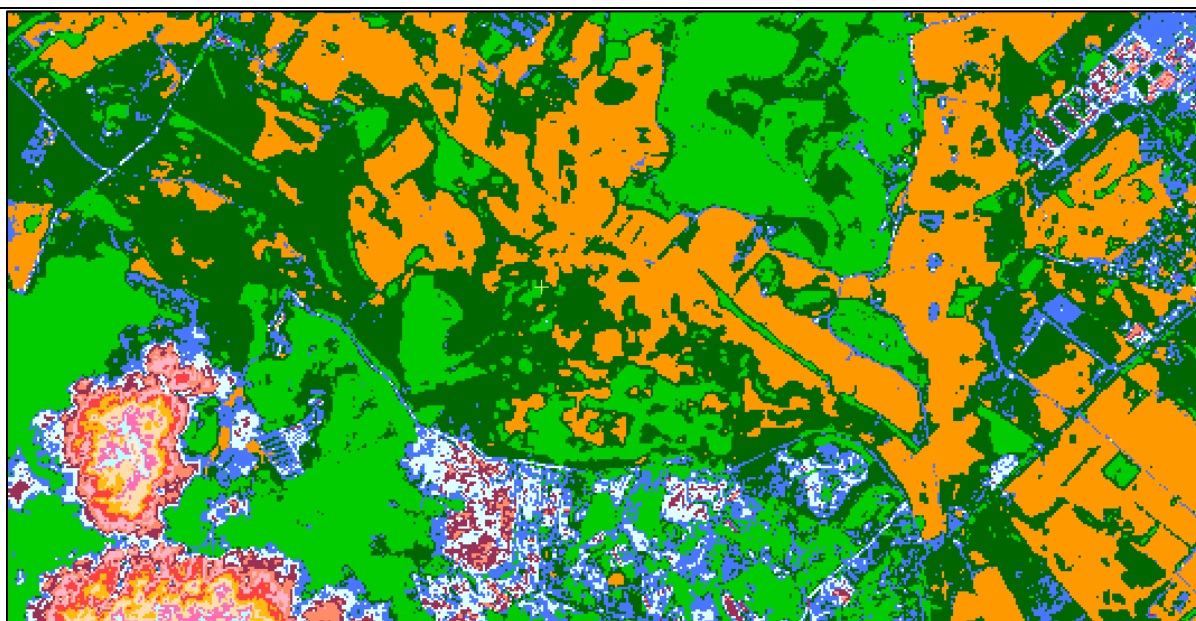
**Fuente:** Elaboración propia

<b>Imagen del año 2015</b>



**Fuente:** Elaboración propia

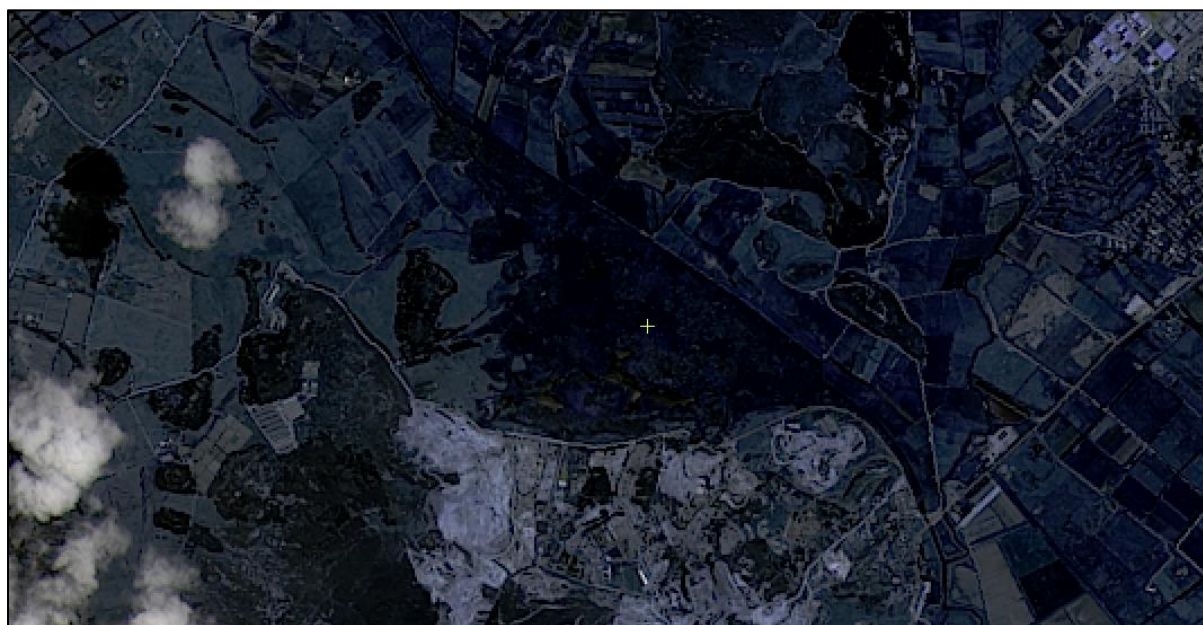
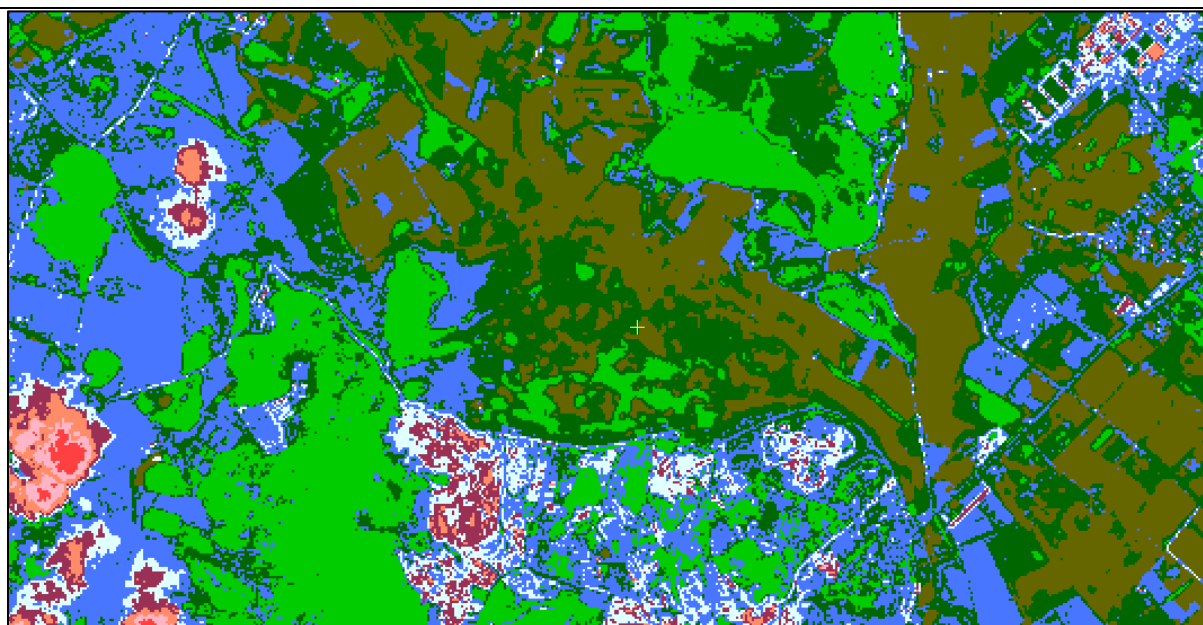
**Imagen del año 2016**



**Fuente:** Elaboración propia

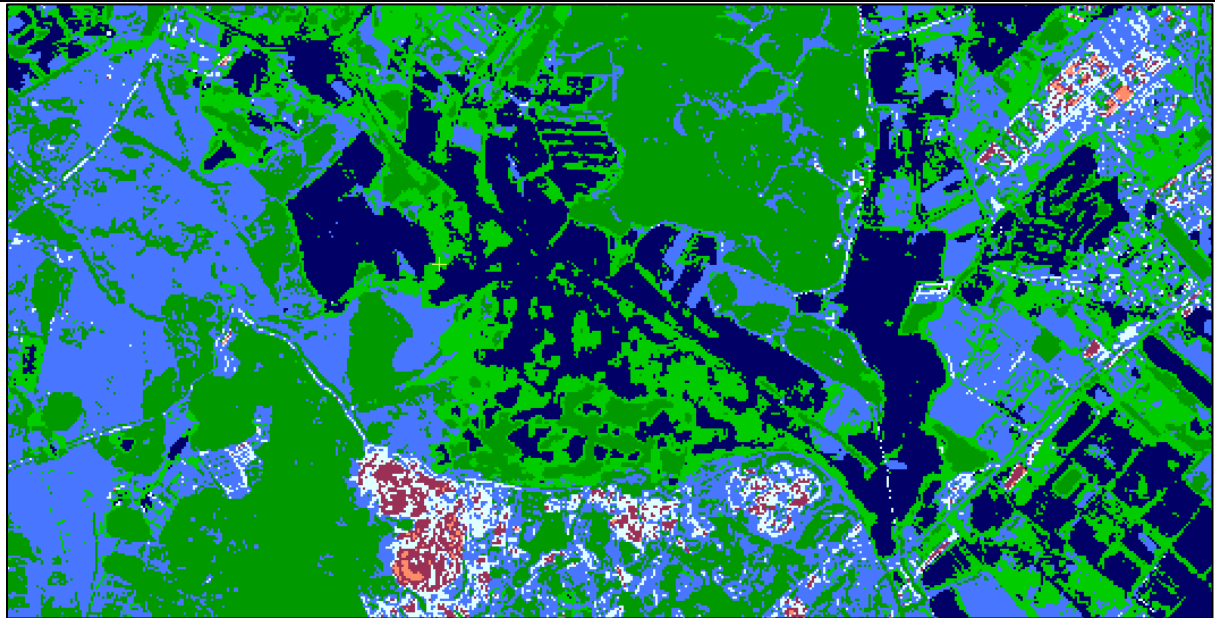
Imagen del año 2017





Fuente: Elaboración propia

Imagen del año 2018



**Fuente:** Elaboración propia

## ANALISIS:

Luego de obtener la información correspondiente a las imágenes satelitales en diferentes épocas desde la primera imagen hasta la actualidad, vemos un gran vacío entre los años de 2003 hasta el 2014, donde los sensores remotos landsat 4 y 5, cesaron sus actividades, fueron sustituidos por el sensor landsat 7, pero este tuvo un inconveniente, al parecer recibió un golpe por basura espacial y sufrió una avería, dejando las imágenes con líneas que atraviesan las imágenes en su totalidad, las cuales se denominaron gaps o en español brechas, que generan gran pérdida de información, para este inconveniente lo que se suele realizar es un llenado con información circundante a las zona afectadas, pero ya que la



zona de estudio es tan pequeña, el llenado puede sesgar o arrojar resultados no verídicos y haciendo que la comparación pueda sufrir alteraciones en sus resultados.

Siguiendo con el análisis primario de las imágenes, a simple vista o realizando una foto interpretación, vemos que en algunas imágenes el efecto que tiene la clasificación no supervisada es asociar los cuerpos de agua con cobertura vegetal con bastante agua como similares, claros ejemplos son las imágenes de los años 2014, 2016, 2017 y 2018, para ellos se realizara una nueva fusión de imágenes para mejorar la resolución espectral y ganar resolución espacial, en cuanto a las imágenes restantes, vemos que es posible realizar un análisis a simple vista, ya que presentan modificación o cambio del espejo de agua en la zona de estudio, lo que puede ser causados por diferentes actividades que se llevan a cabo tanto en el mismo humedal como en los sectores aledaños.

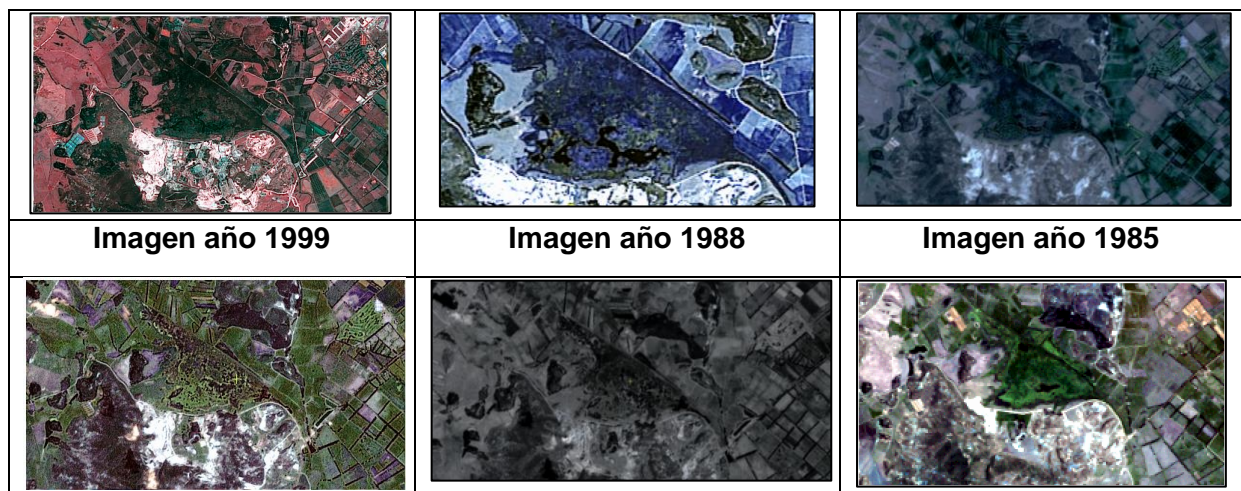
Para tener una buena calificación de los cambios que ha presentado el humedal, se realizara una selección de imágenes con buena resolución espectral como espacial, disminuyendo la cantidad y mejorando la calidad de los procesos que se harán con el fin de concluir que tipo de procesos se presentan y a causa de que se presentan.

La foto interpretación es la técnica mediante la cual se realiza una clasificación de las coberturas presentes en el área cubierta por la imagen satelital, este método va dirigido más que todo las fotografías áreas por la resolución espacial y la facilidad de identificar objetos en la escena. Pero ya que el área de estudio presenta, luego de la fusión, una mejor resolución se escogerán las escenas mediante la observación e identificación de coberturas presentes.

La selección de las imágenes para realizar una comparación de los fenómenos y cambios que ha sufrido el cuerpo de agua debe cumplir con unas características tales como; buena interpretación de las imágenes tanto en falso color como en color natural. El tiempo que haya transcurrido entre ellas sea significativo para que los cambios presentes sean percibidos mediante sensores remotos. Mediante procesamiento digital la clasificación de las coberturas y su delimitación sea de fácil manejo y por último que no tenga ruidos tales como nubes, sectores con falta de información y que la combinación de las bandas pueda reflejar diferentes características del terreno.

~~Ya que e~~Entre lo identificado con las imágenes procesadas vemos gran cantidad de información alterada por los procesos llevados a cabo, dos de las escenas se manejarán con la resolución espacial original, a causa de la falta del pancromático con una mayor resolución espacial, estas dos escenas son las de los años 1985 y 1988, entre las imágenes que obtuvieron buen resultado en la fusión para mejorar la resolución espacial tenemos las imágenes de los años 1999, 2003, 2015 y 2018:

IMAGENES SELECCIONADAS		
Imagen año 2018	Imagen año 2015	Imagen año 2003

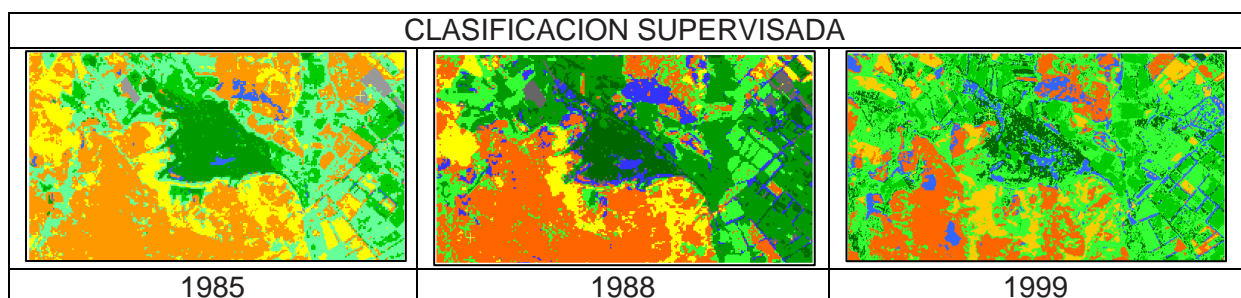


**Fuente:** Elaboración propia

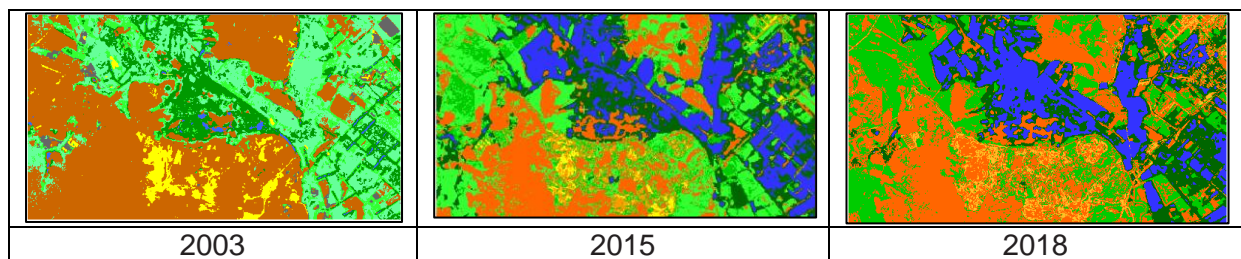
Para poder clasificar mejor las coberturas y destacar los cambios tanto en el humedal como en los alrededores, se realizara una clasificación supervisada de la zona de estudio, de las diferentes escenas con las que se cuenta, la clasificación supervisada es un proceso en el cual se deben conocer las coberturas presentes en la zona de estudio en el momento de la toma de la imagen, de tal forma que se puede asignar un pixel con cierto valor a una clase de la que ya se sabe cuál es su respuesta en la combinación realizada.

Este proceso se realiza en el software PCI geomatics, con 6 escenas correspondientes a los años 1985, 1988, 1999, 2003, 2015 y 2018 como se mencionó anteriormente, con un numero de clases que varía entre 6 a 10 ya que, en la zona de estudio, no se presenta mayor diversidad de coberturas, mediante el algoritmo máxima verosimilitud “La agrupación de píxeles se realiza a partir de la función de probabilidad.

*Es un algoritmo más complejo, pero mucho más utilizado, ya que garantiza mejores resultados en comparación con los dos anteriores. El proceso consiste en la estimación de la probabilidad de pertenencia de cada píxel a cada clase temática a partir de la media, la desviación estándar y las matrices de varianza-covarianza de las muestras, así como para todas las bandas que intervienen en la clasificación. El píxel se asigna a una clase específica si su probabilidad es mayor que las probabilidades de las otras categorías. Los límites de las clases temáticas se representan en forma de elipses, encargados de definir el nivel de probabilidad de cada área. Al mayor traslape entre ellas, mayor riesgo de confusión espectral (Posada, 2008).<sup>7</sup>”*



<sup>7</sup> [http://geoservice.igac.gov.co/contenidos\\_telecentro/PDI\\_Sem4/index.php?id=14](http://geoservice.igac.gov.co/contenidos_telecentro/PDI_Sem4/index.php?id=14)



Fuente: Elaboración propia

El resultado de la clasificación supervisada de las imágenes no es el esperado, a pesar que en las primeras escenas este proceso arroja las coberturas que se esperan en las zonas adecuadas, en las últimas escenas no es verídico ni confiable, ~~por~~ que la clasificación se ve afectada por los tonos oscuros de los cultivos que han sido regados y se confunden con los tonos de la cobertura tanto del espejo de agua como de las especies que cubren el humedal, se procederá con la interpretación de la imágenes con combinaciones que permitan discriminar mejor las coberturas presentes que son relevantes para el análisis de los cambios que han tenido lugar en el humedal Laguna La Herrera, para ellos tendremos en cuenta las características de cada una de las bandas con las que cuenta cada escena, en los sensores landsat las bandas 2 y 3 son usados en el análisis de calidad del agua, la banda 4 un infrarrojo cercano es perfecto para la delimitación de cuerpos de agua y la banda 5 otro infrarrojo cercano con diferencia en longitud de onda con respecto a la banda 4, es usado en la medición de humedad en la vegetación, se realizaran combinaciones usando cada una de las bandas para obtener el mejor resultado:

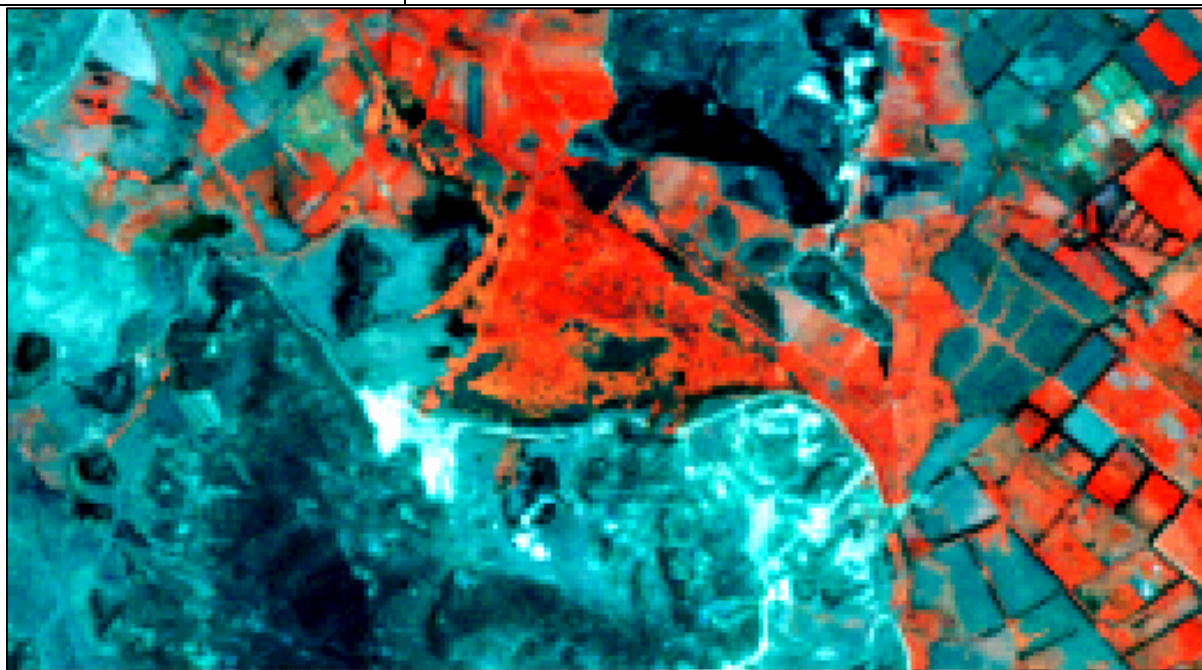
Combinación color natural (3,2,1) imagen de 1985	Se puede apreciar que la imagen empieza a pixelarse, la zona de estudio la cual abarca el humedal, presenta un color verde oscuro, junto con unas zonas de color negro correspondientes a lo descubierto del cuerpo de agua, las canteras presentan un color blanco, <del>ya que</del> el material que se extrae refleja casi en su totalidad el rayo de luz, los suelos expuestos y algunos cultivos que aún no han sido sembrados, que se encuentra en la etapa del arado presentan colores cafés oscuros y grises oscuros, los cultivos presentan formas y patrones regulares.
---	---






Combinación falso color  
(4,3,2) imagen de 1988

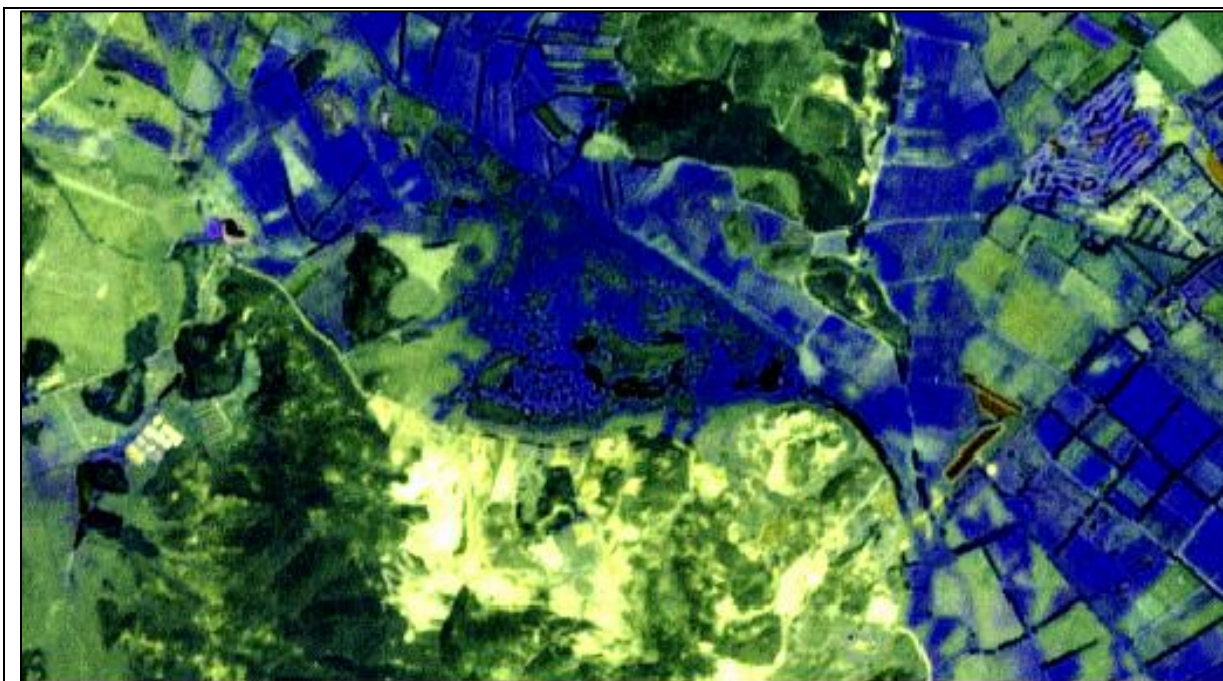
Al contar con un infrarrojo y dos colores que realzan la humedad en la vegetación, con una salida intensa por el canal del rojo, esta cobertura, la que abarca la vegetación presente en el cuerpo de agua, los cultivos cercanos o que han sido recientemente regados, muestran esta respuesta, los cuerpos de agua al igual que el suelo con alto contenido orgánico tiende a tonarse de un color oscuro o negro, como es el caso donde se puede apreciar el espejo de agua que por su poca profundidad muestra una respuesta grisácea.



**Fuente:** Elaboración propia

<p>Combinación falso color (4,5,3) imagen 1999</p>	<p>Esta combinación presenta dos infrarrojos cercanos y color natural, los cultivos y vegetación se puede observar del color naranja, los cuerpos de aguas como siempre, se puede apreciar de color oscuros yendo hacia el negro, las canteras, como siempre se podrán apreciar de un color claro casi blancos.</p>
	
<p>Combinación falso color (2,3,4) imagen 2003</p>	<p>Es posible apreciar la vegetación con altos contenidos de humedad, los cuerpos de agua y los suelos con un contenido orgánico, presentes colores oscuros, nuevamente las canteras presentan el color claro, o blanco y el resto de la vegetación presenta un color verde oliva.</p>





**Fuente:** Elaboración propia

Combinación falso color (2,3,4)  
imagen 2015

Los infrarrojos y el color natural se encuentran con mayor intensidad por el canal del verde, donde tenemos la banda 3, con colores verdes oscuros tenemos vegetación con gran cantidad de humedad, luego tenemos vegetación o cultivos con bajo nivel de humedad con colores verdes más claros, oscuros cuerpos de agua con presencia de plantas acuáticas y las canteras con colores blancos.



Combinación falso color (1,2,4)  
imagen 2018

Los suelos descubiertos o con poca vegetación presentan colores rojizos, la vegetación frondosa y con altos contenido de humedad, presenta un color verde oscuro y el cuerpo de agua color oscuro.







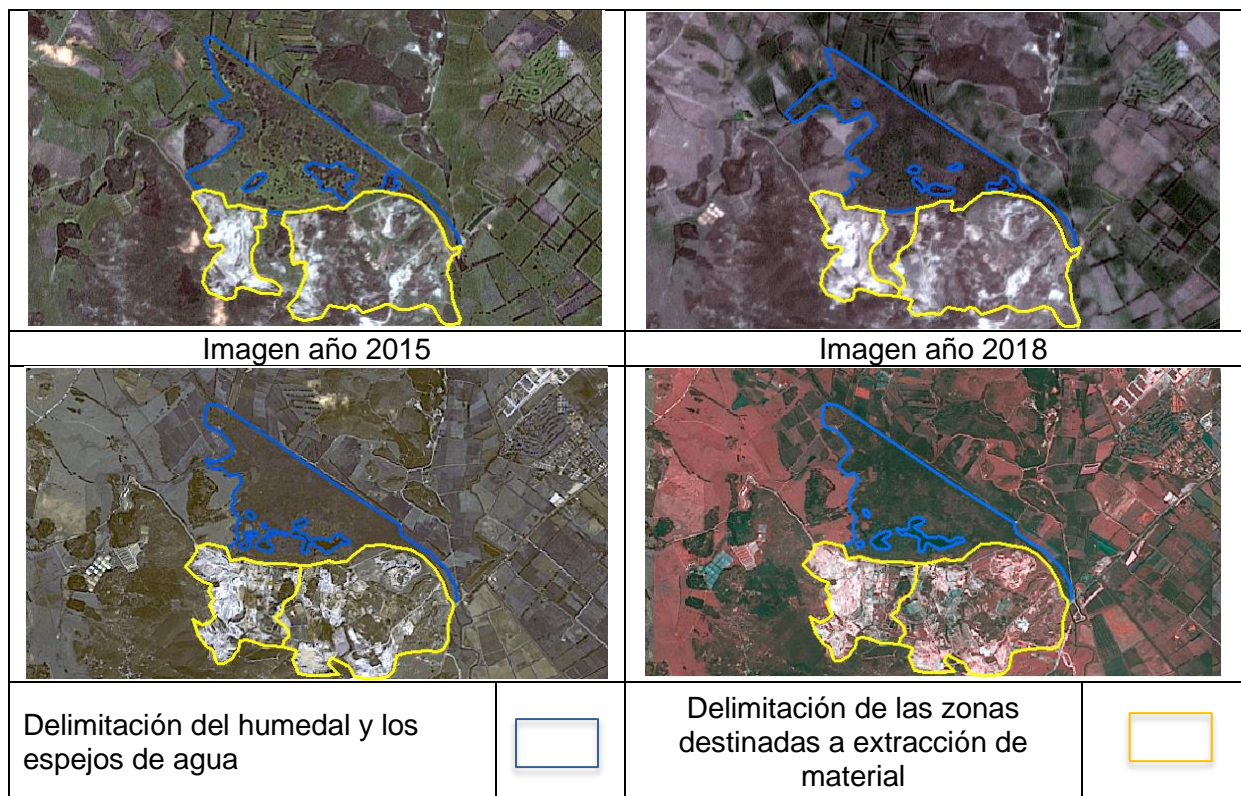
**Fuente:** Elaboración propia

Durante el transcurso de los 33 años y con ayuda de las imágenes satelitales es posible percibir el cambio que ha sufrido sobre todo la cantera adyacente al humedal, ya que ha sido constantemente en aumento, el humedal ha presentado variaciones, pero la cubierta vegetal no ha sido objeto de cambio a simple vista, se procede con la medición en cada una de las escenas del espejo de agua presente.

## RESULTADOS:

Se realizaría la comparación del crecimiento de la zona de extracción de material de construcción (canteras), junto con los cambios que ha sufrido el humedal Laguna La Herrera, tanto en el espejo de agua presente como en su área.

CAMBIOS EN EL AREA SUPERFICIAL DEL HUMEDAL LAGUNA LA HERRERA Y LAS CANTERAS ADAYACENTES AL CUERPO DE AGUA	
Imagen año 1985	Imagen año 1988
	
Imagen año 1999	Imagen año 2003



Fuente: Elaboración propia

Al realizar la medición del área del humedal en el tiempo transcurrido entre las escenas seleccionadas, se puede ver, que ha sufrido una disminución, hasta lo que se conoce hoy en día. Al igual que en la información recopilada en relación a los problemas en que se ha visto inmerso el humedal, vemos que las medidas presentadas en documentos en comparación con lo medido en la imagen del año 2018 son similares. El cambio en el espejo de agua ha ido disminuyendo, como se decía en un comienzo, los inconvenientes a los que se ve expuesto el humedal, por la cantidad de materia orgánica que llega hace que el cuerpo de agua tienda a la eutrofización. Por otra parte, tuvo un incremento para el año 1999, vuelve a decaer y sin parar hasta el año 2018, donde podemos ver que la relación ha bajado tanto que ya solo cubre un 18.60% del área superficial del humedal el espejo de agua, en cambio vemos un crecimiento bastante considerable en el área destinada a la extracción de material.

AÑO	ÁREA HUMEDAL (Ha)	ÁREA ESPEJO DE AGUA (Ha)	ÁREA CANTERAS (Ha)	RELACION ESPEJO DE AGUA HUMEDAL (%)
1985	314.824	162.62	295.180	51.65
1988	315.617	99.951	297.941	31.66
1999	333.154	261.554	3799.368	78.50
2003	290.813	114.797	3933.336	39.47
2015	290.371	70.414	4494.058	24.24
2018	288.419	53.672	4494.058	18.60

Fuente: Elaboración propia

El aumento del espejo de agua en 1999 pudo ser a causa de las lluvias que se presentaron y que generaron una gran cantidad de desbordamientos a nivel nacional, pero solo es una suposición con datos identificados en la red.



Desde el año 2006 cuando se declara reserva hídrica el humedal Laguna La Herrera, se esperaría una mejoría ya que dentro de los programas para la recuperación está la construcción de conexiones para el intercambio entre especies, la limpieza de las plantas acuáticas que en exceso pueden generar eutrofización, además de la construcción de la PTAR de Mosquera con mayor capacidad y el manejo hídrico en la agricultura, actividad por la cual se ve desecación por sustraer el líquido.

## **CONCLUSIONES:**

A pesar de ver una relación inversamente proporcional entre la pérdida tanto del área del humedal y el espejo del agua con el aumento de las canteras en las zonas contiguas al cuerpo de agua, hay que tener en cuenta que no es el único factor que tiene una incidencia sobre los efectos que se visualizaron en los cambios en déficit de la extensión del cuerpo de agua. Son también generadores de este, la agricultura, ya que a medida que se necesita mayor espacio para poder cultivar y mayor cantidad de agua, va restando espacio para el humedal, junto con las pérdidas de cobertura con efectos como la reduciendo en los ciclos naturales en la recolección del agua para la recargar de la masa de agua. Otro factor importante es el uso del humedal como zona de descarga de las aguas negras provenientes de los centros urbanos cercanos, gracias a las acciones que se están llevando a cabo, como se mencionó anteriormente, el hecho de delimitar el humedal y la generación del PMA (plan de manejo ambiental) hecho por la CAR (corporación autónoma regional), el construir la PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales), sigue haciendo falta control sobre los procesos que se lleven a cabo, para mejorar las condiciones del cuerpo de agua.

El proceso de análisis de imágenes y selección, debe ser más estricta y preferiblemente tener más sensores entre los cuales escoger las imágenes necesarias en el estudio multi temporal, ya que como se pudo observar durante el procesamiento de las imágenes obtenidas, la falta de información y las bajas especificaciones del material para el modelamiento de los procesos y la obtención de los resultados fue baja y con pocas soluciones a los problemas presentados, a raíz de esto, aunque se pudo continuar con la identificación de los datos necesarios para poder dar un resultado como la relación entre los fenómenos que se presentan, donde no es cierto decir que la pérdida del espejo de agua y la disminución del área el humedal, sea netamente por el crecimiento y malos manejos y controles sobre las canteras contiguas, aunque si se concluye que existe un porcentaje alto de culpabilidad, no solo en la relación que se pudo observar anteriormente sino también en los estudios realizados, tanto por autoridades competentes como la CAR al igual que investigaciones académicas y privadas que se han hecho en el sector, nos lleva a deducir que efectivamente si existe un grado de culpa de las canteras en la pérdida en el área y el espejo de agua presente en el humedal Laguna La Herrera.

## **REFERENCIAS:**

Universidad de Murcia; Sistemas de Información Geográfica de la licenciatura de Ciencias Ambientales y en la de Teledetección de la licenciatura de Geografía "Fotointerpretación. Geología y Geomorfología", España, Disponible en: <http://www.um.es/geograf/sig/teledet/fotogeol.html>

MecanESO, Una WEB donde puedes encontrar los contenidos necesarios para abordar tus proyectos mecánicos de tecnología. “Resolución de las imágenes satélite”  
Disponible en: [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad1/i\\_resolucion.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad1/i_resolucion.htm)

Iván Lizarazo Salcedo, Rubén Javier Medina Daza, Alejandro Vivas Perdomo, Fredy Alexander Bolívar, Carlos Calderón, Samuel Mesa, Alexander Munar; Grupo de Investigación en Fusión de Imágenes; Ingeniería Catastral y Geodesia, Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital “Evaluación de la fusión de imágenes satelitales usando la transformada de wavelet con relación a los métodos tradicionales”, Bogotá, Colombia. Disponible:  
<http://cidc.udistrital.edu.co/investigaciones/documentos/revistacientifica/rev5/vol1/1Fusion.pdf>

Diego Renza Torres, Implementación y evaluación de un filtro digital para la transformada wavelet compleja de doble árbol (dt-cwt) aplicada a la fusión de imágenes bidimensionales en escala de gris, Trabajo presentado como requisito parcial para optar por el título de Master en Ingeniería de Telecomunicaciones, Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2010, Disponible:  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/8839/1/diegorenzatorres.2010.pdf>

Mario F. Lillo-Saavedra y Consuelo Gonzalo, “Aplicación de la Metodología de Fusión de Imágenes Multidirección-Multiresolución (MDMR) a la Estimación de la Turbidez en Lagos”, Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento de Mecanización y Energía, Universidad Politécnica de Madrid, Facultad de Informática, Chillan-Chile, Madrid-España, 2008; Disponible:  
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v19n5/art15.pdf>

C. O. Cabrera, D. García, Hansen, “Fusión de imágenes satelitales mediante wavelets para la maximización de la ganancia espacial y espectral”, Ciudad de Panamá, Panamá, 2012, Disponible  
[https://www.researchgate.net/publication/260908866\\_FUSION\\_DE\\_IMAGENES\\_SATELITALES\\_MEDIANTE\\_WAVELETS\\_PARA\\_LA\\_MAXIMIZACION\\_DE\\_LA\\_GANANCIA\\_ESPACIAL\\_Y\\_ESPECTRAL](https://www.researchgate.net/publication/260908866_FUSION_DE_IMAGENES_SATELITALES_MEDIANTE_WAVELETS_PARA_LA_MAXIMIZACION_DE_LA_GANANCIA_ESPACIAL_Y_ESPECTRAL)

Víctor Olaya, “Sistemas de información Geográfica”, 2014, Disponible:  
<http://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Imagenes.html>

INEGI. Dirección General de Geografía y Medio Ambiente, “Aspectos técnicos de las imágenes landsat”, México, Disponible en:  
[http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos\\_tecnicos\\_de\\_imagenes\\_landsat.pdf](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_landsat.pdf)

Universidad de Jaén departamento de ingeniería cartográfica, geodésica y fotogrametría, Andalucía-España, 2006, Disponible en:  
[http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/tel/archivos/Prac\\_Tel\\_2006\\_7.pdf](http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/tel/archivos/Prac_Tel_2006_7.pdf)



Marcos Angelini, "Clasificación digital de imágenes satelitales", Disponible en: <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/geomatica/289121082.m1-LECTURA6-CLASIFICACION.pdf>

Sergio Enrique Rojas, "Método para la detección de cambios del paisaje en la amazonia con base en sensores remotos", Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Geomántica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2014; Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/47214/1/80721868.20141.pdf>

Acuerdo No 23 del 17 de julio de 2006, Por el cual se declara Reserva Hídrica el Humedal de la Laguna de la Herrera, se establece su franja de protección y se adoptan otras determinaciones, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, Colombia, 2006

Acuerdo No. 021 del 04 de agosto de 2009, por la cual se adopta el plan de manejo ambiental de la reserva hídrica Humedal Laguna La Herrera, localizado en jurisdicción de los municipios de Mosquera y Madrid, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, Colombia, 2009.

García Luna, VM (2001). Introducción al procesamiento digital de señales. Elai-Upm , 1 , 5.

Román-González, A., & Vargas-cuentas, N. (2013). Análisis de imágenes hiper espectrales. Revista Ingeniería & Desarrollo, 9(35), 14–17. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00935014>

A. A. Pérez, M. R. Gutiérrez, D. Caicedo Herrera, F. Navarrete, L. F. Camargo, Política nacional para humedales interiores en Colombia. Bogotá; Colombia: Ministerio del medio ambiente, 2002, Primera edición.